

DSSHerbicide: Feldversuche zur Unkrautbekämpfung im Winterweizen – was bringt der Einsatz eines Entscheidungshilfesystems?

DSSHerbicide: Herbicide field trials in winter wheat. What is the good of this?

Friederike de Mol*, Robert Fritzsche und Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Phytomedizin,
Satower Straße 48, 18059 Rostock, Deutschland

*Korrespondierender Autor, friederike.de-mol@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.046

Zusammenfassung

Bei der chemischen Unkrautbekämpfung im Ackerbau ist die Wahl der Herbizide und ihrer optimalen Aufwandmengen eine große Herausforderung, da die Auswahl an geeigneten Herbizidmischungen groß ist und die ökonomischen Folgen schwer abzuschätzen sind. DSSHerbicide ist ein computergestütztes Entscheidungshilfesystem, das kostengünstige Bekämpfungsmaßnahmen errechnet. Es wurde auf Grundlage des dänischen Systems Crop Protection Online mit deutschen Herbizid- und Unkrautdaten auf deutsche Verhältnisse angepasst. In den Jahren 2011 und 2012 wurden in Mecklenburg-Vorpommern vierzehn Herbizidversuche auf konventionellen Winterweizenschlägen mit unterschiedlicher Unkrautdichte angelegt, um den Prototypen des Systems zu testen. Neben der Herbizidauswahl, die DSSHerbicide vorschlug, wurden die Bekämpfungsvorschläge von privaten Beratern, dem amtlichen Warndienst und Landwirten umgesetzt. Die Entscheidungsvarianten wurden in den Parametern ausgewählte Herbizide, Herbizidkosten, Behandlungsindex, Restverunkrautung und Weizenertrag untersucht. Weder in den Herbizidkosten, noch im Behandlungsindex oder im Weizenertrag wurden zwischen dem Entscheidungshilfesystem einerseits und den Expertenvarianten andererseits signifikante Unterschiede gefunden. Die Restverunkrautung war im Mittel in den Varianten der Bekämpfung nach DSSHerbicide signifikant höher als in den Varianten des Warndienstes. Das führte in der Tendenz zu höheren Erträgen in der Warndienstvariante, die sich statistisch aber nicht absichern ließen. In den Herbizidkosten und dem Behandlungsindex fiel eine höhere Streuung der Werte des DSSHerbicide zwischen den Versuchsstandorten auf. Eine höhere Korrelation zwischen der Dichte der Ausgangsverunkrautung und den Herbizidkosten in der DSSHerbicide Variante als in den Expertenvarianten lässt auf eine schlagspezifische Herbizidempfehlung durch das Entscheidungshilfesystem schließen. Der DSSHerbicide Prototyp arbeitete mit einer eingeschränkten Auswahl an Herbiziden. Da die Empfehlungen des Systems sich in den vierzehn Feldversuchen als robust erwiesen, wird es sich lohnen, die beratene Herbizidpalette zu erweitern.

Stichwörter: Crop Protection Online, Herbizid, Unkrautbekämpfung

Abstract

To choose herbicides and their optimal dosages is a great challenge in chemical weed control in arable crops, because the choice of possible herbicide mixtures is big and economic consequences are hardly estimated. DSSHerbicide is a computer aided decision support system calculating cost-saving weed control measures. It is adapted to German conditions from the Danish Crop Protection Online system with German herbicide and weed data. To test the prototype of the system, fourteen herbicide trials were installed at conventional winter weed fields with differing weed densities in 2011 and 2012. Apart from the herbicide selection of DSSHerbicide recommendations from private advisers, official advisory service and farmers were implemented as test variables. The different ways of decision-making were investigated with the parameters chosen herbicides, herbicide costs, treatment frequency index, weeds left after treatments and wheat yield. Neither in herbicide costs, nor in treatment frequency index nor in yield significant differences between the decision support system on the one side and the expert advices on the other side were found. Biomass of weeds after treatments was significantly higher in the DSSHerbicide plots than in the plots of the official advisory service. In tendency, but not significantly, this led to higher yields in the plots of the official advisory service. Variation in herbicide costs and treatment frequency indices between the field trials was highest in the DSSHerbicide plots. A higher correlation of weed density before control and herbicide costs in the DSSHerbicide plots than in the expert plots indicates a field specific herbicide advice by the DSSHerbicide. The prototype worked with a limited number of implemented herbicides. Since herbicide advices of the decision support system were robust over the fourteen field trials, it will be worth implementing more herbicides in the system.

Keywords: Crop Protection Online, herbicide, weed control

Einleitung

Der Einsatz von Herbiziden zur Unkrautbekämpfung gehört in der konventionellen Winterweizenproduktion in Deutschland zu den Standardmaßnahmen. Das zeigen die Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis, die im Rahmen des nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (BMELV, 2008) im Vergleichsbetriebsnetz Ackerbau erhoben wurden: im Jahr 2011 wurden in Deutschland im Winterweizen im Mittel 1,7-mal Herbizide appliziert (ROSSBERG, 2013).

Daraus folgt, dass Landwirte standardmäßig im Anbaujahr meist mehrmals taktische Entscheidungen zum Herbizideinsatz treffen. Dabei sind multiple Kriterien zu berücksichtigen. So muss neben den ökonomischen Auswirkungen des Herbizideinsatzes – Kosten und Mehrerlös durch verringerte Unkrautkonkurrenz, leichtere Ernte und bessere Produktqualität – die potentielle Samenproduktion der Unkräuter berücksichtigt werden, die die Wirtschaftlichkeit der Folgekultur und somit der gesamten Fruchtfolge beeinflusst (VAN DEN BERG *et al.*, 2010). Der Entwicklung von Herbizidresistenz soll mit dem Herbizidmanagement ebenfalls entgegengewirkt werden. Ästhetische Aspekte können von Landwirten ebenso in Betracht gezogen werden wie ökologische Folgen des Herbizideinsatzes. Nicht zuletzt muss die Bekämpfungsmaßnahme terminlich in die Betriebsabläufe eingepasst werden. Diesen zahlreichen Kriterien steht eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten gegenüber. In Deutschland sind 214 Herbizide im Winterweizen zugelassen (BVL, 2013), die mit beliebig reduzierten Aufwandmengen und auch gemischt oder in Spritzfolgen eingesetzt werden dürfen.

Seit Mitte der 80er Jahre Rechnerleistung verfügbar wurde, wurden zahlreiche computergestützte Entscheidungshilfesysteme für den Herbizideinsatz entwickelt. Im einem europäischen ENDURE Projekt sind allein neun europäische Entscheidungshilfesysteme verglichen worden (RYDAHL *et al.*, 2008). Sie berücksichtigten nicht alle oben angesprochenen Kriterien – z.B. ist den Autoren noch kein Entscheidungshilfesystem bekannt, das Resistenzmanagement berücksichtigt – aber zeigten zumindest in Teilbereichen, meist der Wirtschaftlichkeit in der aktuellen Kultur, optimale Herbizidtaktiken auf (z. B. BERTI *et al.*, 2003). Auch Entscheidungshilfesysteme, die die Fruchtfolge mit einbeziehen, wurden entwickelt (BENJAMIN *et al.*, 2009).

Trotz der Vielzahl der entwickelten Systeme werden diese Entscheidungshilfen von Landwirten relativ selten genutzt (JØRGENSEN *et al.*, 2007). Wahrscheinlich ist das dänische Crop Protection Online, das heute ca. 1.000 Abonnenten nutzen, das am besten etablierte System. In einem EU South Baltic Projekt wurde dieses System für die Unkrautbekämpfung im Winterweizen unter nordostdeutschen Anbauverhältnissen in einem Prototyp, d.h. mit eingeschränkter Mittelpalette und Unkrautartenzahl, angepasst. Somit steht ein Tool zur Verfügung (www.dssherbicide.eu), mit dem in Nordostdeutschland getestet werden kann, ob sich die Nutzung von Entscheidungshilfesystemen für den Landwirt lohnt.

Dem DSSHerbicide Prototypen CPOStandard (DSSHerbicide) liegt die Annahme zugrunde, dass durch Nutzung gesicherter Dosis-Wirkungsbeziehungen ein Teil der Herbizide eingespart werden kann, ohne dass es zu Ertragseinbußen und inakzeptabler Samenproduktion kommt. Dabei kann eine Restverunkrautung toleriert werden. Die Zielgröße des Optimierungsalgorithmus sind die Herbizidkosten. Es wird davon ausgegangen, dass mit sinkenden Kosten auch die Herbizidintensität sinkt und somit ein ökologischer Zusatznutzen erreicht wird.

In diesem Beitrag werden die Hypothesen getestet, dass bei Nutzung des DSSHerbicide im Vergleich zu Herbizidentscheidungen von Experten

- a) die Kosten des Herbizidanwendungen geringer sind,
- b) der Behandlungsindex (BI) als Maß für die Herbizidintensität ebenfalls geringer ist,
- c) die Biomasse, die die Unkräuter nach Abschluss der Herbizidmaßnahmen gebildet haben, größer ist,
- d) die Winterweizenerträge nicht geringer sind.

Material und Methoden

Versuchsdesign

In den Anbaujahren 2011/12 und 2012/13 wurden in Mecklenburg-Vorpommern an je sieben Standorten auf konventionellen Winterweizenschlägen Herbizidversuche nach EPPO-Standards (EPPO, 2007) mit einer unbehandelten Kontrolle angelegt. Die Versuchsanlagen waren Blockanlagen mit vier Wiederholungen. Die Parzellen waren 2,5 m breit und je nach Fahrgassenabstand auf dem Weizenschlag, zwischen 7,5 m und 10,5 m lang, sodass sich Parzellenflächen von 18,75 m² bis 26,25 m² ergaben. Es wurden verschiedene Prototypen von Entscheidungshilfesystemen getestet. Hier wird der Prototyp CPOStandard („DSS“) betrachtet, der in der Struktur und den Entscheidungsregeln dem dänischen Crop Protection Online entspricht. Er enthielt zur Zeit der Versuche Daten zu 21 Herbiziden und 21 Unkrautarten. Weitere drei Prüfglieder waren 1.) die Bekämpfungsentscheidungen eines privaten Anbauberaters („Berater“), der die Schläge kannte und die Versuchsparzellen vor der Empfehlung besichtigte, 2.) die Behandlung nach Warndiensthinweisen des Pflanzenschutzdienstes Mecklenburg-Vorpommern („Warndienst“) und 3.) die Bekämpfung, die der Landwirt auf dem den Versuch umgebenden Schlag einsetzte („Praxis“). Der Anbauberater war an die Mittelpalette des „DSS“ gebunden, während die Mittelauswahl für „Warndienst“ und „Praxis“ frei war. Die Prüfglieder „DSS“, „Warndienst“ und „Praxis“ waren in allen vierzehn Versuchen angelegt. Das Prüfglied „Berater“ fehlte in drei Versuchen, da der landwirtschaftliche Betrieb keine private Pflanzenschutzberatung in Anspruch nahm. Die Herbizide wurden mit einer handgeschobenen Feldversuchsspritze auf der gesamten Parzellenfläche ausgebracht.

Datenerfassung und -auswertung

Vor der Anlage der Parzellen wurden artspezifische Unkrautdichten auf zufällig verteilten 10 mal 1/10 m² pro Block ermittelt. Diese Erfassung diente der Standortcharakterisierung und wurde auch als Grundlage der Bekämpfungsentscheidung im Herbst genutzt.

Nach Abschluss der Herbizidbehandlungen im Frühjahr zum Stadium der Milchreife des Weizens wurden pro Parzelle auf einem Quadratmeter ohne Messwiederholung die oberirdische Biomasse geerntet und die Trockenmasse der Unkräuter nach Arten getrennt bestimmt.

Die Ernte erfolgte im Kerndrusch auf 1,5 m Breite über die gesamte Parzellenlänge. Der Ernteertrag wurde auf 14 % Feuchte standardisiert.

Bei der Berechnung der Herbizidkosten pro Anbaujahr wurden Preise von Großgebinden für alle Entscheidungsvarianten zugrunde gelegt. Mit diesen Preisen wurde auch im Entscheidungshilfeprogramm gerechnet. Kosten für die Überfahrten wurden nicht kalkuliert.

Der Behandlungsindex (BI) nach SATTler *et al.* (2007) wurde als Maß für die Herbizidintensität errechnet.

Die statistischen Auswertungen erfolgten gemäß den aufgestellten Hypothesen jeweils als einseitige Tests ($\alpha = 0.05$) der Entscheidungsvarianten der Experten gegen das „DSS“. Für die varianzinhomogenen oder nicht-normalverteilten Daten Herbizidkosten und Unkraut-Trockenmasse wurden gepaarte Wilcoxon-Tests mit Bonferroni-Korrektur angewendet. Für die Unkraut-Trockenmasse wurde zusätzlich ein gemischtes Modell mit den Standorten und transformierten Trockenmassen (Transformation: 4. Wurzel) als Zufallsfaktoren erstellt, um den Anteil der Standorte bzw. der Entscheidungsvarianten an der Gesamtvarianz zu erfassen.

Die Behandlungsindizes wurden mit einem Linearen Modell und der Weizenertrag mit einem Gemischten Modell mit den Standorten als Zufallsfaktor ausgewertet. Folgend wurden Post-Hoc Tests mit p-Wert Anpassung gerechnet.

Statistische Auswertungen erfolgten mit R Software und den Paketen agricolae, lme4 und multcomp (R CORE TEAM, 2012).

Standorte

Die Versuche lagen auf diluvialen Böden mit Bodenarten von schwach lehmigem bis stark lehmigem Sand. Die Ausgangsverunkrautungen waren unterschiedlich dicht (Abb. 1). Vorherrschend waren dikotyle Mischverunkrautungen mit größeren Anteilen von *Viola arvensis*, *Matricaria* spp. und *Papaver rhoeas*. Nur an einem Standort traten auch in größerem Umfang Ungräser auf (Abb. 1).

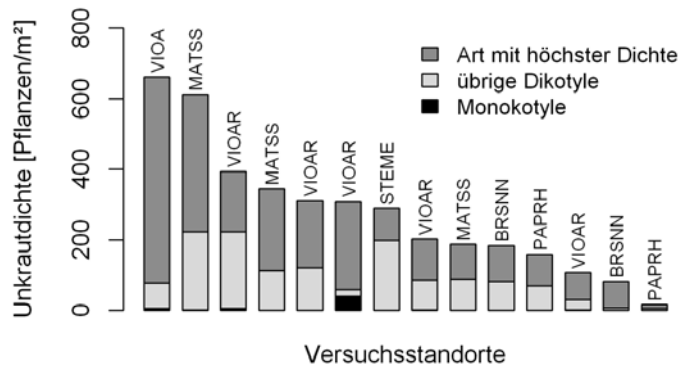


Abb. 1 Mittlere Unkrautdichte auf den Herbizidversuchen im Herbst vor der Unkrautbekämpfung.

Fig. 1 Mean weed densities in herbicide trials before weed control in autumn.

Ergebnisse

Herbizide

Die Herbizidauswahlen des „DSS“ als computergestütztes Entscheidungshilfesystem und der „Berater“-Variante waren durch die Vorgaben des DSSHerbicide Prototypen eingeschränkt. „Warndienst“ und „Praxis“ nutzten insbesondere im Herbst eine größere Herbizidvielfalt (Tab. 1). Jedoch auch „DSS“ und „Berater“ bevorzugten unterschiedliche Pflanzenschutzmittel. So wurden durch „DSS“ im Herbst auffällig oft Absolute M® und Lexus® empfohlen. „Berater“ empfahl im Herbst u.a. Bacara forte®, Cadou SC® und Pointer SX®, die von „DSS“ im Herbst nicht zum Einsatz kamen. Im Frühjahr wurde in der „DSS“-Variante Pointer SX® auf 11 der 14 Versuche eingesetzt – viel häufiger als in den Varianten, die von den Experten empfohlen wurden. Nur die „DSS“-Varianten wurden stets behandelt.

Tab. 1 Herbizidauswahl im Entscheidungshilfesystem DSSHerbicide („DSS“) sowie von drei Expertenvarianten („Berater“, „Warndienst“ und „Praxis“) in Herbizidversuchen zur Nachauflaufbehandlung im Herbst und im Frühjahr (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)). Zahlen geben an, wie oft das Herbizid empfohlen wurde.

Tab. 1 Choice of herbicides by the decision support system DSSHerbicide („DSS“) and by three herbicide expert treatments („Berater“, „Warndienst“ und „Praxis“) in herbicide field trials for autumn resp. spring application (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)). Numbers show, how often the herbicide was advised.

Herbizide im Herbst	in DSS Prototyp	DSS	Berater	Warndienst	Praxis	Herbizide im Frühjahr	in DSS Prototyp	DSS	Berater	Warndienst	Praxis
kein Herbizid	ja	-	1	-	-	kein Herbizid	ja	-	1	1	1
Absolute M [®]	ja	8	1	1	3	Arianse C [®]	ja	-	1	1	2
Arelon Top [®]	nein	-	-	-	1	Artus [®]	nein	-	-	3	2
Atlantis WG [®]	ja	2	-	1	-	Atlantis WG [®]	ja	1	2	-	-
Bacara forte [®]	ja	-	2	5	3	Broadway [®]	ja	3	-	1	1
Cadouc SC [®]	ja	-	4	-	1	Concert SX [®]	ja	-	1	-	-
Falkon [®]	nein	-	-	-	1	Dirigent SX [®]	nein	-	-	1	-
Fenikan [®]	nein	-	-	3	1	Flurane 180 [®]	ja	-	-	1	2
Herold SC [®]	ja	4	6	2	5	Husar OD [®]	ja	2	-	1	-
Lexus [®]	ja	5	3	-	2	Pointer SX [®]	ja	1	2	4	2
Malibu [®]	nein	-	-	2	3	Primus [®]	ja	-	4	1	4
Pointer SX [®]	ja	-	3	5	1	Starane XL [®]	ja	5	2	-	-
Primus [®]	ja	3	-	-	-						
Stomp Aqua [®]	ja	1	-	1	-						
Trinity [®]	nein	-	-	-	1						
UP CTU [®]	nein	-	-	-	1						

Herbizidkosten

Die durchschnittlichen Herbizidkosten lagen im Anbaujahr 2011/12 bei 57 €/ha⁻¹ und 2012/13 bei 49 €/ha⁻¹. Die Spannbreiten reichten von 7 €/ha⁻¹ bis 125 €/ha⁻¹, beides Extremwerte in „DSSHerbicide“ im ersten Versuchsjahr. Im ersten Versuchsjahr wiesen die vier Prüfglieder stark unterschiedliche Streuungen auf: die höchste Standardabweichung hatte „DSS“ mit 41 €/ha⁻¹, die niedrigste die „Praxis“-Variante mit 7 €/ha⁻¹. Wegen der stark unterschiedlichen Varianzen zwischen den Prüfgliedern im ersten Versuchsjahr konnten die Daten nicht in einem gemeinsamen linearen Modell verrechnet werden. Im ersten Versuchsjahr war die Variante „Praxis“ mit 45 €/ha⁻¹ mit Abstand die kostengünstigste und die „DSS“-Variante mit 63 €/ha⁻¹ die teuerste Unkrautbekämpfung. Die Kostenunterschiede zwischen der „DSS“-Entscheidung einerseits und den Expertenentscheidungen andererseits konnten statistisch nicht abgesichert werden. Im zweiten Versuchsjahr schlug „Berater“ mit 44 €/ha⁻¹ die preiswertesten Herbizidlösungen vor und „Warndienst“ mit 53 €/ha⁻¹ die teuersten. Die Herbizidkosten von 46 €/ha⁻¹ des „DSS“ lagen im Mittelfeld und unterschieden sich nicht signifikant von den Expertenvarianten (Abb. 2).

Behandlungsindex (BI)

Der mittlere BI betrug 1.42. Er sank in der Reihenfolge „Warndienst“ > „DSS“ > „Berater“ > „Praxis“, wobei die Unterschiede gering waren (Abb. 2). Sie unterschieden sich zwischen dem computergestützten System und den Expertenentscheidungen nicht signifikant. Auffällig war hingegen die stark unterschiedliche Streuung der Werte. Hier lag „DSSHerbicide“ mit einer Standardabweichung von 0.60 am höchsten, gefolgt von „Praxis“ (0.43), „Berater“ (0.42), und der „Warndienst“-Variante (0.28).

Biomasse des Unkrauts

Die Trockenmasse des Unkrauts, das nach Abschluss der Behandlungen stehen geblieben war, variierte stark. Während auf 50 % der 53 Behandlungsfolgen weniger als 4,2 g Trockenmasse * m⁻² gewogen wurden, lag die höchste Trockenmasse in einer Variante auf einem Standort bei 272.0 g Trockenmasse * m⁻². Auf den unbehandelten Parzellen wurden im Mittel 9,1mal höhere Trockenmassen bestimmt als auf den behandelten. Die Varianz in der Biomasse ließ sich zu 42 % mit den Versuchsstandorten erklären. Die Art der Behandlungsentscheidung trug hingegen nur 17 % zur Varianz bei. Im Mittel aller Versuche hatte „DSS“ lediglich gegenüber der „Warndienst“-Variante eine signifikant erhöhte Unkrautbiomasse.

Ertrag des Winterweizens

Die auf den Versuchen erzielten Erträge lagen im Mittel bei 97,2 dt*ha⁻¹ mit einer Spannbreite von 69,5 dt*ha⁻¹ auf schwach lehmigem Boden bis 117,2 dt*ha⁻¹ auf lehmreicherem Boden. Die Erträge auf den behandelten Parzellen übertrafen die der unbehandelten Kontrolle im Mittel um 23 %. Die Ertragsunterschiede zwischen den Varianten waren mit 95,9 dt*ha⁻¹ („Praxis“) bis 98,2 dt*ha⁻¹ („Warndienst“) gering (Abb. 2). „DSSHerbicide“ nahm mit 97,0 dt*ha⁻¹ eine mittlere Stellung ein. Die untere 95 % Vertrauensgrenze des „DSSHerbicide“ lag 3,3 dt*ha⁻¹ unter dem Mittelwert der „Warndienst“-Erträge.

Korrelationen zwischen den Herbizidkosten und den Unkrautdichten, die zu der Herbizidentscheidung führten, sind in Tabelle 2 aufgeführt. Der engste positive Zusammenhang zwischen Unkrautdichte und Herbizidkosten bestand für die Variante „DSS“. Herbizidkosten und Behandlungsindex korrelierten für „DSS“ sehr stark, und für die Experten-Varianten teils deutlich weniger.

Tab. 2 Zusammenhang zwischen der Unkrautdichte im Herbst vor Herbizideinsatz und den Herbizidkosten, sowie Zusammenhang zwischen Herbizidkosten und Behandlungsindex. (Spearman-Korrelation, n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Tab. 2 Correlation of weed density in autumn before herbicide treatment and herbicide costs. Correlation of herbicide costs and treatment frequency index. (Spearman correlation, n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Korrelation zwischen	„DSS“	„Berater“	„Warndienst“	„Praxis“
Herbizidkosten und Unkrautdichte	0,35	0,23	0,11	-0,41
Herbizidkosten und Behandlungsindex	0,96	0,77	0,14	0,72

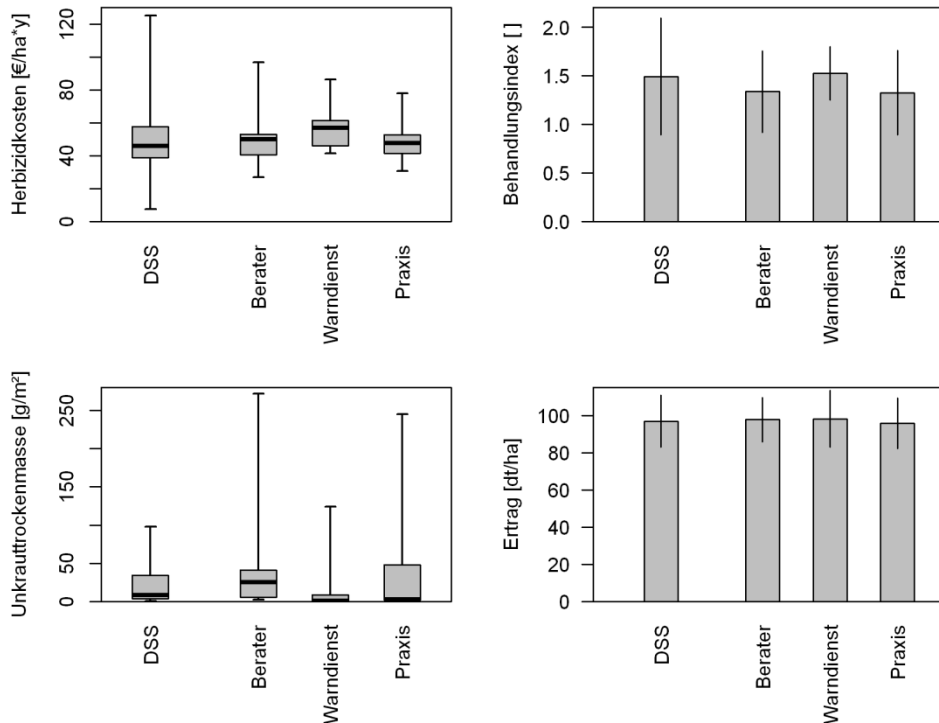


Abb. 2 Einfluss der Variante der Entscheidungsfindung („DSS“: Entscheidungshilfesystem DSSHerbicide, „Berater“ - privater Anbauberater, „Warndienst“ – Empfehlung nach Warndienstinformation, „Praxis“ – Herbizidbehandlung des angrenzenden Schlags) auf Herbizidkosten (oben links), Behandlungsindex (oben rechts), Unkrauttrockenmasse nach Abschluss aller Herbizidmaßnahmen (unten links) und Weizenertrag (unten rechts). Kosten und Trockenmasse sind als Boxplots dargestellt, die Whisker reichen bis zum Extremwert. Behandlungsindex und Ertragsgrafiken zeigen Mittelwerte (graue Balken) und Standardabweichungen (Fehlerlinie), (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Fig. 2 Influence of the variable of decision-making („DSS“: Decision support system DSSHerbicide, „Berater“ - private adviser, „Warndienst“ – official standard advice, „Praxis“ – herbicide treatment on the surrounding field) on herbicide costs (top left), treatment frequency index (top right), weed dry matter (bottom left) and yield (bottom right). Costs and dry matter are represented as boxplots with whiskers to the most extreme values. Figures of the treatment frequency indices and yield show mean values (gray bars) and standard deviations (error lines), (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Diskussion

Das vorrangige Ziel des Entscheidungshilfesystems DSSHerbicide zur Herbizidauswahl und zur Wahl der Herbizidaufwandmengen ist die Reduktion der direkten Kosten. Erwartet wird, dass damit auch eine Verringerung der Herbizidintensität und somit eine positive ökologische Wirkung verbunden ist. In den hier ausgewerteten vierzehn Feldversuchen konnten weder eine Kostenreduktion noch eine Reduktion der Herbizidintensität festgestellt werden. In der Tendenz zeigten „Berater“ sowie „Praxis“ die geringsten Kosten und Behandlungsindices. Lediglich die Variante „Warndienst“ wies in der Tendenz höhere Werte auf. Dieses Ergebnis überrascht nicht. Da der Warndienst die aktuelle Schlagverunkrautung nicht kennt, muss die Herbizidwahl nach einer relativ groben Beschreibung der Verunkrautung erfolgen, kann deshalb nur wenig spezifisch sein und wird eher „auf der sicheren Seite“ liegen. Nach den Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis ermittelte ROSSBERG (2013) in Deutschland einen mittleren

Behandlungsindex von 1.63 für Herbizide in Winterweizen. Der im Mittel in unseren Versuchen errechnete BI von 1.42 zeigt die auf leichteren Böden übliche niedrigere Herbizidintensität. Der Mittelwert der Herbizidkosten von 52 €*ha⁻¹ ist jedoch höher als die vom LALLF (2008) herausgegebenen Kalkulationsdaten von 40 €*ha⁻¹ für den Herbizideinsatz im Winterweizen.

Das Ergebnis der intensiveren Behandlung durch die Warndienstvariante spiegelte sich im niedrigsten Unkrautbesatz wider. Das Niveau der Unkrautmasse war allerdings auch für „DSS“ niedrig, sodass sich die geringere Unkrautmasse in der Warndienstvariante nicht in höheren Ernteerträgen auswirkte. Die Herbizidwahl des Warndienstes und der Praxis konnte aus einer größeren Mittelpalette erfolgen, die auch genutzt wurde. Es ist wahrscheinlich, dass sich mit Aufnahme von mehr Herbiziden in den Prototypen des DSSHerbizide die Herbizidkosten senken lassen.

Die höheren Streuungen in den Herbizidkosten und -intensitäten entsprechen dem Anspruch des DSSHerbizide, schlagspezifisch zu beraten, d.h. die Bekämpfung am Unkrautvorkommen auszurichten. Die Korrelation zwischen Unkrautdicke und Herbizidkosten ist deshalb erwartungsgemäß für „DSS“ am höchsten (Tab. 2). Auch die Korrelationen in den Varianten „Berater“, wo auch schlagspezifisch beraten wird, und „Warndienst“, wo eine Ausrichtung an der tatsächlich vorhandenen Verunkrautung nur sehr grob möglich ist, waren zu erwarten. Die steigenden Kosten bei sinkender Unkrautdicke in der „Praxis“-Variante ist überraschend, kann aber im Bereich des Zufalls liegen, da die Streuung der Kosten in dieser Variante gering ist. Eventuell ist für die Herbizidbehandlung in der Anbauplanung ein fester Betrag vorgesehen, der dann auch ausgeschöpft wird. Bei der Beurteilung der „Praxis“-Variante darf auch nicht vergessen werden, dass die Behandlungsentscheidung nicht an der Verunkrautung auf den Versuchspartellen, sondern auf dem umgebenden Schlag ausgerichtet wurde.

Ein Nebeneffekt der Reduktion der Kosten für die Unkrautbekämpfung sollte eine sinkende Belastung des Agrarökosystems durch Herbizide sein. Diese Rechnung scheint für „DSS“, „Berater“ und „Praxis“ aufzugehen, wie die vorhandenen Korrelationen zwischen Kosten und BI zeigen (Tab. 2). Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass im Mittel „DSS“ neben „Warndienst“ die ungünstigste Variante hinsichtlich des BI's ist.

Die Erwartungen an das DSSHerbizide bezüglich des Herbizidaufwands im Sinne der formulierten Hypothesen wurden nicht bestätigt. DSSHerbizide erwies sich jedoch auf jedem Standort als robust. Das heißt, dass weder die Restverunkrautung höher als bei Expertenentscheidungen lag, noch Ertragsdepressionen aufgrund der Computerentscheidung zu verzeichnen waren. Die Robustheit des Systems, das nach denselben Algorithmen auch in Dänemark läuft, wurde auch dort in Herbizidversuchen bestätigt (RYDAHL, 2003). Die Standorte unterscheiden sich in der Höhe der Verunkrautung sehr, jedoch sind alle Standorte durch eine dikotyle Mischverunkrautung gekennzeichnet. Auf dem einzigen Standort mit stärkerer monokotyle Verunkrautung waren die Trockenmassen der Restverunkrautung besonders hoch. Dieses galt jedoch auch für die Varianten der Expertenentscheidungen. Hier besteht Forschungsbedarf, ob das DSSHerbizide sich auch auf Standorten mit hohen Ungrasdichten bewährt.

„DSS“ forcierte in der Herbizidwahl (Tab. 1) im Vergleich zu den Expertenentscheidungen im Herbst die Handelspräparate Absolute M® und im Frühjahr Pointer SX®. Als Wirkstoffe sind in beiden Herbiziden ALS-Hemmer, Flupyrsulfuron bzw. Tribenuron-Methy, enthalten, gegen die Echte Kamille (*Matricaria recutita*) in Deutschland bereits eine Herbizidresistenz entwickelt hat (ULBER *et al.*, 2012). Für Flupyrsulfuron ist Herbizidresistenz von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) auch in deutschen Populationen bekannt (NIEMANN *et al.*, 2002). Für ein Herbizidmanagement gegen die Entwicklung von resistenten Unkrautpopulationen ist ein Wirkstoffwechsel wesentlich (BECKIE, 2006). DSSHerbizide betrachtet dieses Problem bis jetzt nicht. Der DSS Herbizide-Nutzer sollte folglich nicht einfach die kostengünstigste Bekämpfungsalternative wählen, die das System anbietet. Das Entscheidungshilfesystem legt die ökonomischen Konsequenzen verschiedener Herbizidwahlen dar. Dem Anwender bleibt es dann überlassen, weitere Ziele in der Entscheidung zu berücksichtigen.

Danksagung

Die EU ermöglichte die Entwicklung des DSSHerbicide Prototypen finanziell im Rahmen des South Baltic Programmes, wofür die Autoren danken.

Literatur

- BECKIE, H. J., 2006: Herbicide-resistant weeds: Management tactics and practices. *Weed Technol.* **20** (3), 793-814.
- BENJAMIN L. R., A. E. MILNE, D. J. PARSONS, J. CUSSANS und P. J. LUTMAN, 2009: Using stochastic dynamic programming to support weed management decisions over a rotation. *Weed Res.* **49** (2), 207–216.
- BERTI, A., F. BRAVIN und G. ZANIN, 2003: Application of decision-support software for postemergence control. *Weed Sci.* **51**(4), 618-627.
- BMELV (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ), 2008: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, 35 S.
- BVL (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2013: Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. <https://portal.bvl.bund.de/psm/jsp/>, Zugriff am 12.10.2013.
- JØRGENSEN, L. N., E. NOE, A. M. LANGVAD, J. E. JENSEN, J. E. ØRUM und P. RYDAHL, 2007: Decision support systems: barriers and farmers' need for support. *OEPP Bull.* **37** (2), 374-377.
- NIEMANN, P., R. BÜNTE und J.-H. HOPPE, 2002: First proofs of flupyrsulfuron-resistance within *Alopecurus myosuroides* in Northern Germany. *Gesunde Pflanzen* **54** (6) 183-187.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2007: Efficacy evaluation of herbicides: Weeds in cereals. *OEPP Bull.* **37** (3), 482–485.
- LALLF (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern), 2008: Richtwerte – Deckungsbeiträge Pflanzenproduktion, Wintergetreide und Raps. <http://www.landwirtschaft-mv.de>, Zugriff am 15.10.2013.
- R CORE TEAM, 2012: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- ROSSBERG, D., 2013: Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen* **65** (4), 141-151.
- RYDAHL, P., 2003: A web-based decision support system for integrated management of weeds in cereals and sugarbeet. *OEPP Bull.* **33** (3), 455-460.
- RYDAHL, P., A. BERTI, A. and N. MUNIER-JOLAIN, 2008: Decision support systems (DSS) for weed control in Europe – state-of-the-art and identification of 'best parts' for unification on a European level. *ENDURE International Conference* 12. – 15. Oktober 2008, La Grotte.
- SATTLER, C., H. KÄCHEL und G. VERCH, 2007: Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. *Agr. Ecosyst. Environ.* **119** (3-4), 299-304.
- ULBER, L., P. ZWERTGER, E. SVOBODA, B. JASER und F. G. FELSENSTEIN, 2012: Monitoring zur Resistenz gegen ALS-Inhibitoren bei Kamille-Arten. Tagungsband der 58. Deutschen Pflanzenschutztagung, Julius-Kühn-Archiv **434**, 318-319.
- VAN DEN BERG, F., C. A. GILLIGAN, J. C. GERDESSEN, L. A. H. GREGOIRE und F. VAN DEN BOSCH, 2010: Optimal weed management in crop rotations: incorporating economics is crucial. *Weed Res.* **50** (5), 413-424.